

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura

Progetto di costruzioni in zona sismica

A.A. 2023/2024

03 – OBIETTIVI DELLA PROGETTAZIONE ANTISISMICA E NORMATIVA

Edoardo M. Marino, Università degli Studi di Catania

# Progettazione antisismica

## Terremoti con basso periodo di ritorno

Poiché questi avvengono con frequenza, è importante evitare danni eccessivi ed interruzioni troppo lunghe dell'uso

(l'entità del danno tollerabile dipende dall'importanza dell'edificio)

D

## Terremoti con alto periodo di ritorno

Non è economico progettare la struttura in modo da evitare danni – l'importante è che non crolli

C1

Bisogna garantire maggior sicurezza a strutture "importanti" (per la protezione civile, ecc.)

C2

# Progettazione antisismica

Terremoti con basso periodo di ritorno



Terremoti con alto periodo di ritorno



Più in generale:

Bisogna imporre alla struttura «prestazioni» diverse in funzione del periodo di ritorno del terremoto e dell'importanza dell'edificio



# Eventi sismici, classificazione sismica e normativa

La normativa sismica si è evoluta nel tempo, quasi sempre con nuove norme emesse subito dopo un forte evento sismico

Evento sismico



Nuova classificazione delle zone sismiche



Nuova norme sismiche

# Prime norme sismiche in Italia

Fine '700 ed '800:

Norme che fornivano prescrizioni costruttive e limitazioni all'altezza degli edifici

C1

Problematica

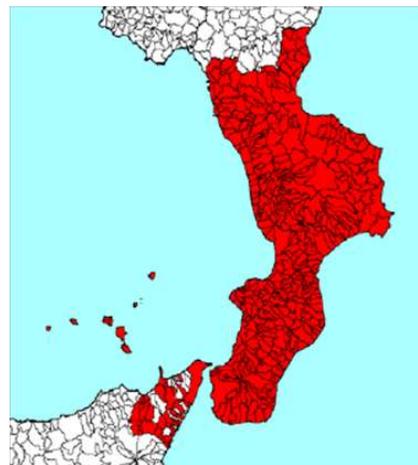
Per terremoti con alto periodo di ritorno non è economico progettare la struttura in modo da evitare danni – l'importante è che non crolli

# Classificazione sismica e normativa: 1909

Terremoto: Messina (1908)  
80000 morti e 600 miliardi di lire (di allora) di danni



Regio Decreto n. 193/1909  
Regio Decreto n. 542/1909



# Classificazione sismica e normativa: 1909

Terremoto: Messina (1908)  
80000 morti e 600 miliardi di lire (di allora) di danni



## R.D. 18 aprile 1909, n.193

Impone di tener conto, nei calcoli di resistenza delle costruzioni, di “azioni dinamiche dovute al moto sismico ondulatorio, rappresentandole con accelerazioni applicate alle masse del fabbricato”.

Le accelerazioni vanno ridotte rispetto alle massime previste.

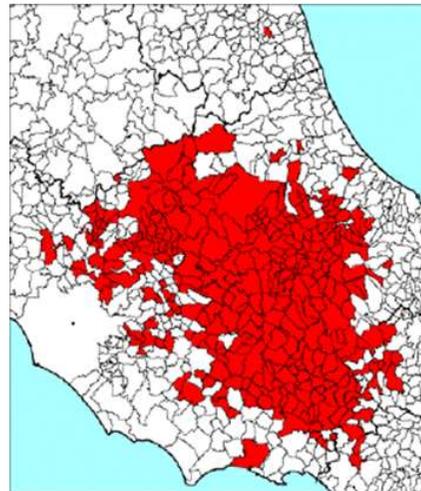
C1

# Classificazione sismica e normativa: 1909-1915

Terremoti: Area etnea (1911), Avezzano (1915)  
oltre 30000 morti

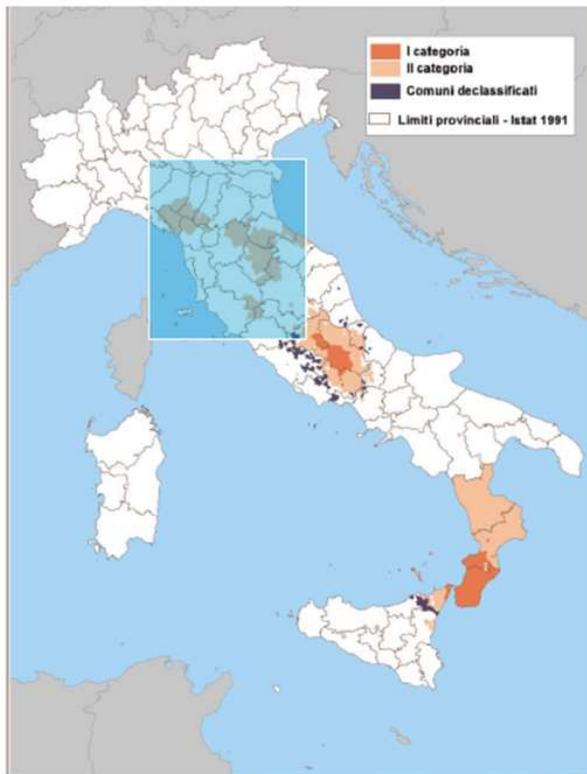


Regio Decreto n. 573/1915



# Classificazione sismica e normativa: 1916-1927

Terremoti: Alto Adriatico, Riminese (1916), Val Tiberina (1917)  
Appennino Romagnolo (1918), Mugello, Toscana meridionale (1919), Garfagnana (1920)



Decreto Legge n. 1526/1916

Regio Decreto n. 2089/1924

Regio Decreto n. 431/1927

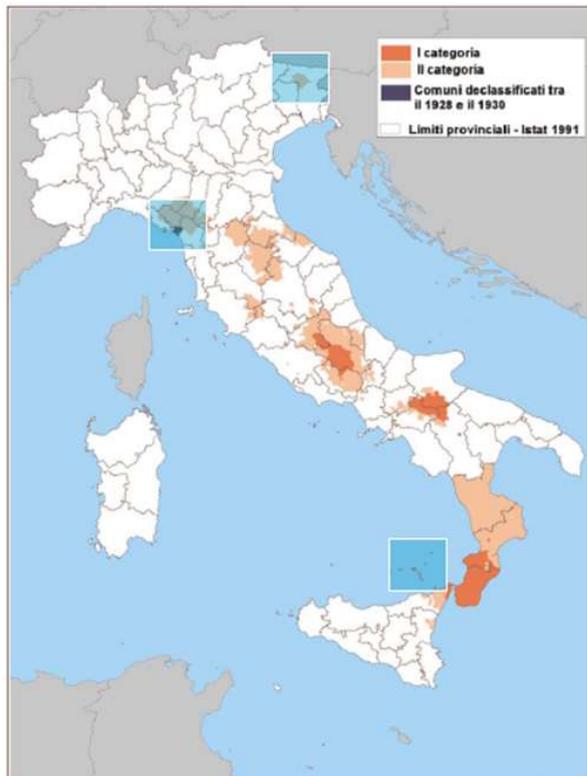


Viene introdotta la zona sismica di seconda categoria

... si assiste anche alla declassificazione di alcune zone sismiche

# Classificazione sismica e normativa: 1927-1930

Terremoti: Colli Albani (1927), Friuli (1928), Bolognese (1929)



Vengono ulteriormente ampliate le zone sismiche

# Classificazione sismica e normativa: 1930-1935

Terremoti: Irpinia, Marche settentrionali (1930), Monte Baldo (1932),  
Maiella (1933)



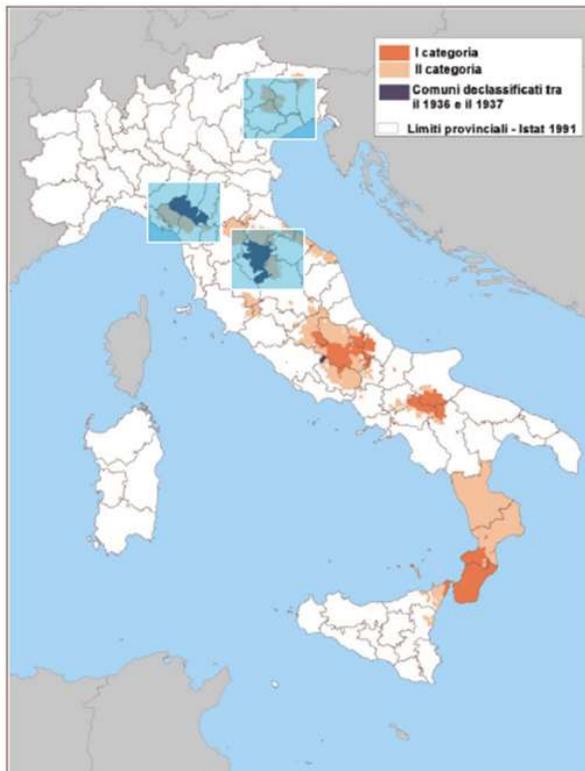
R.D. 25 marzo 1935, n. 640

Impone azioni di entità analoga a quelle utilizzate fino a fine XX secolo (ma con accelerazione uguale a tutti i piani)

Impone l'uso di cordoli in c.a. per edifici in muratura

# Classificazione sismica e normativa: 1935-1937

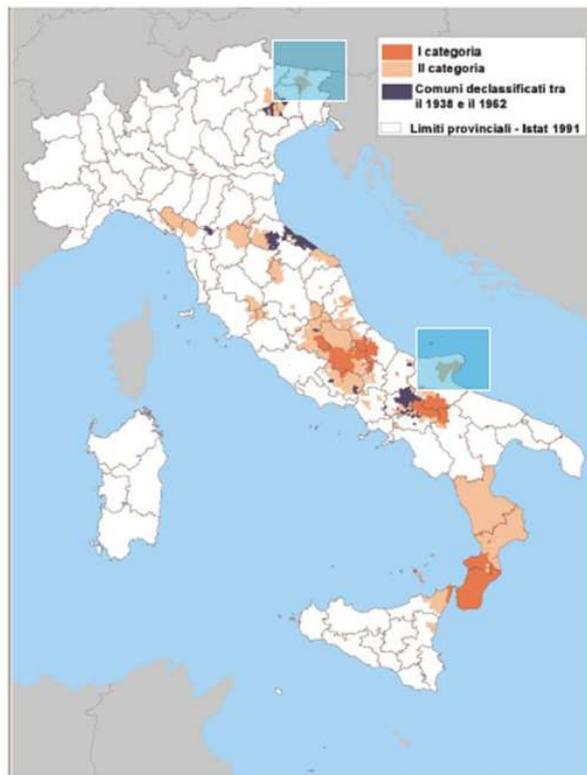
Terremoto: Alpago-Cansiglio (1936)



Regio Decreto Legge  
n. 2125/1937

# Classificazione sismica e normativa: 1937-1962

Terremoti: Golfo di Palermo (1940), Marche meridionali e Abruzzo (1943), Calabria centrale (1947), Carnia (1959), Valle della Velina (1961), Irpinia (1962)

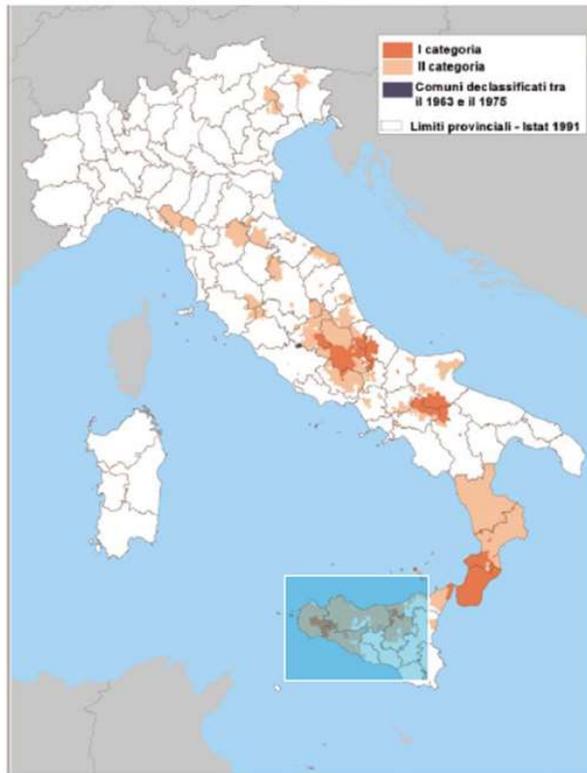


1937-42:

Inclusione di comuni delle province di Ascoli Piceno e Teramo, declassificazione di altri comuni

# Classificazione sismica e normativa: 1962-1975

Terremoti: Monti Nebrodi (1967), Valle del Belice (1968), Tuscania (1971)



## Legge n. 64/1974

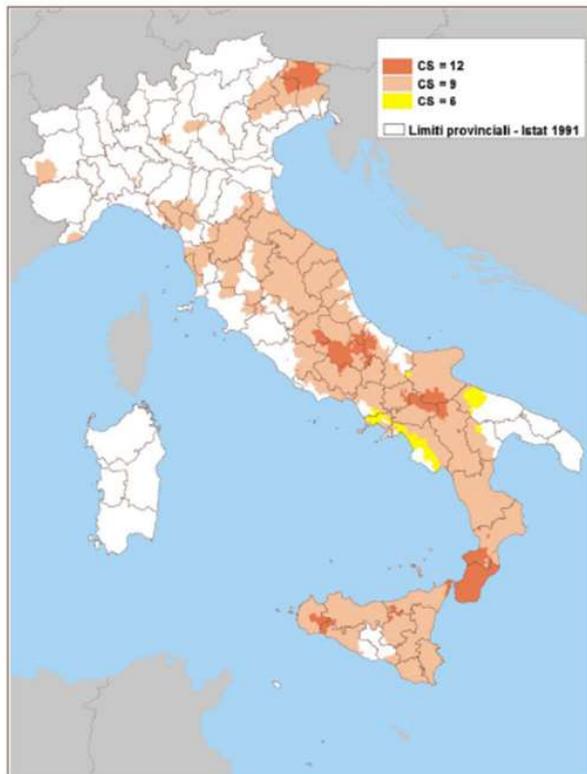
Legge antisismica italiana  
(ancora vigente)

## D.M. 3 marzo 1975

Le forze corrispondono ad una  
accelerazione crescente col piano  
Introduce un “coefficiente  
di struttura”  
Consente l’analisi dinamica lineare  
(modale)

# Classificazione sismica e normativa: 1976-1996

Terremoti: Friuli (1976), Calabria meridionale, golfo di Patti (1978), Valnerina (1979), Irpinia-Basilicata (1980)



**D.M. 3 giugno 1981 n. 515**

Viene introdotta la zona sismica di terza categoria

**D.M. 2 luglio 1981, n. 593**

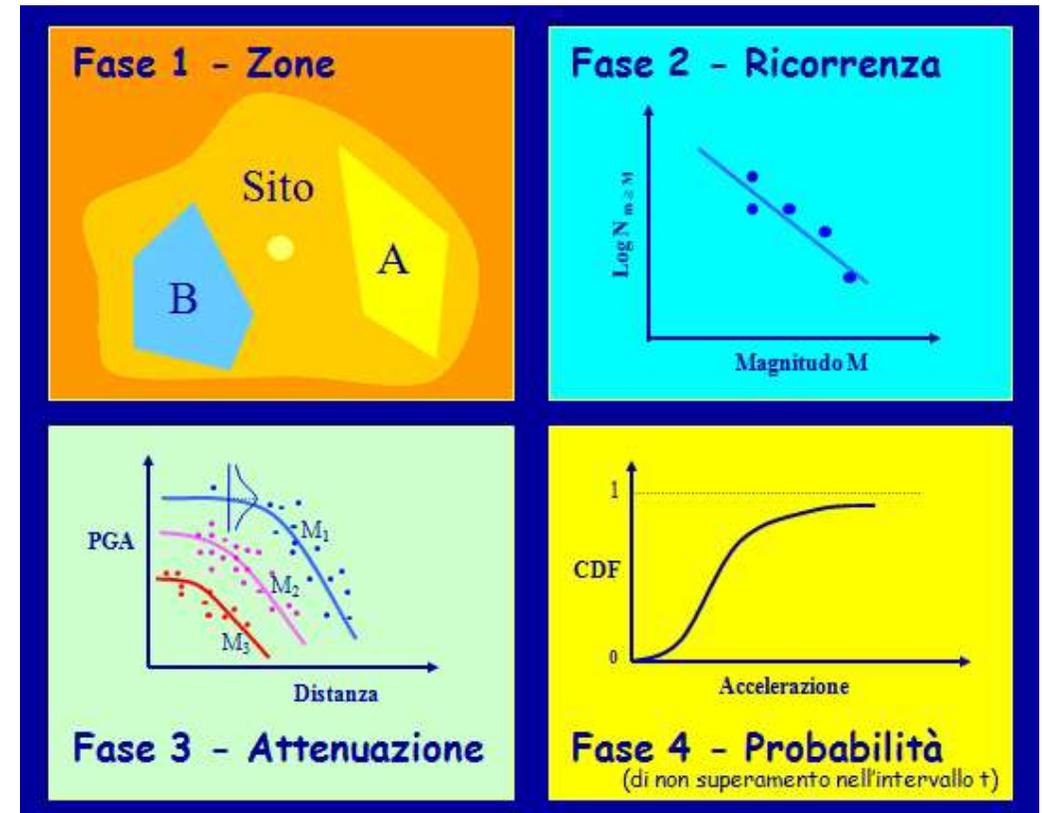
Fornisce indicazioni per riparazione e rafforzamento di edifici danneggiati dal sisma del 1980

Introduce il calcolo anche per gli edifici in muratura

# Classificazione sismica e normativa: anni finali del '900

Dopo il terremoto del Friuli (1976) parte il Progetto Finalizzato Geodinamica (CNR)

Partendo dallo studio geologico, dall'individuazione delle faglie, dalla ricorrenza degli eventi sismici e dalla attenuazione delle onde sismiche con la distanza si valuta **la probabilità di avere assegnate accelerazioni in ciascun sito**



## Relazione tra periodo di ritorno $T_r$ e probabilità di superamento $P_{VR}$

È fornita dalla relazione:

$$T_r = -\frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} \cong \frac{V_R}{P_{VR}}$$

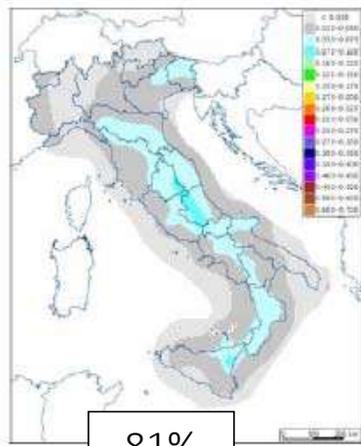
Esempio:

probabilità di superamento del 10% in 50 anni

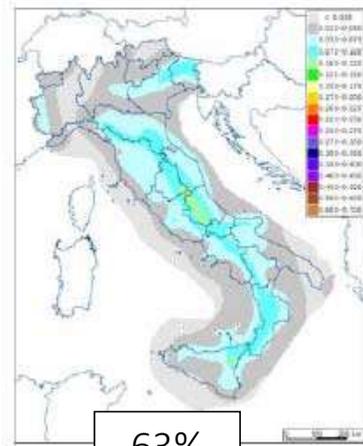
Il periodo di ritorno è:

$$T_r = -\frac{50}{\ln(1-0.10)} = 474.6 \cong 475 \text{ anni}$$

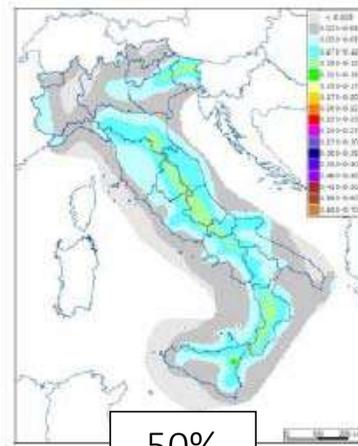
# Carte di pericolosità sismica (PGA) per diverse probabilità di superamento in 50 anni



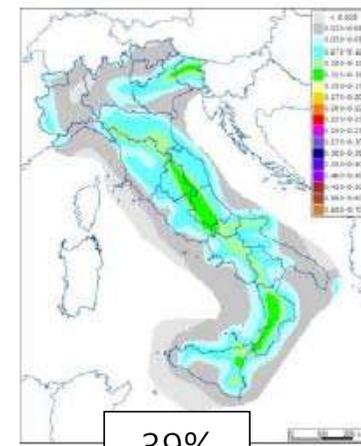
81%



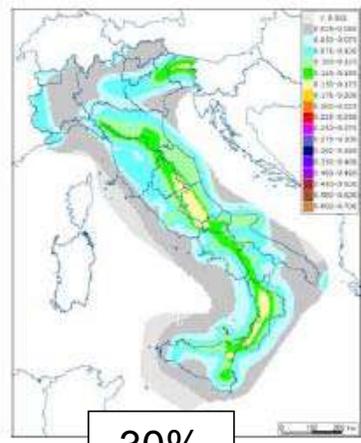
63%



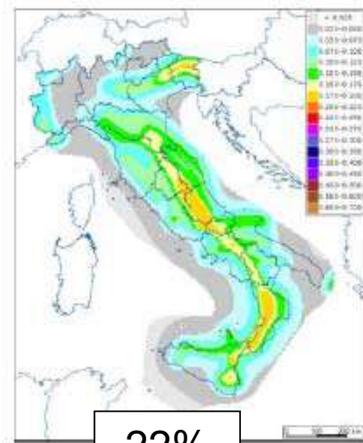
50%



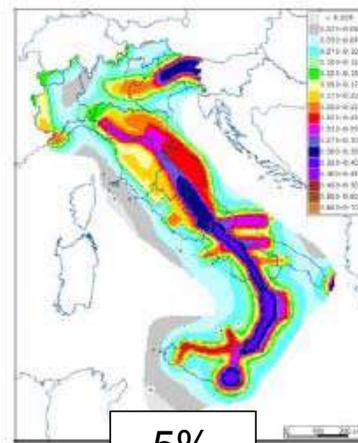
39%



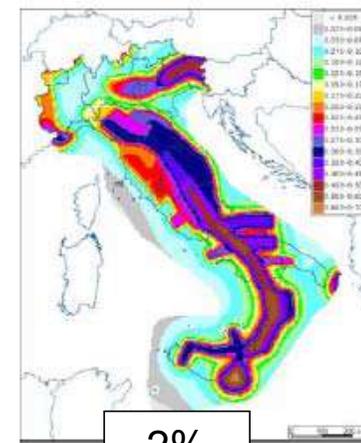
30%



22%



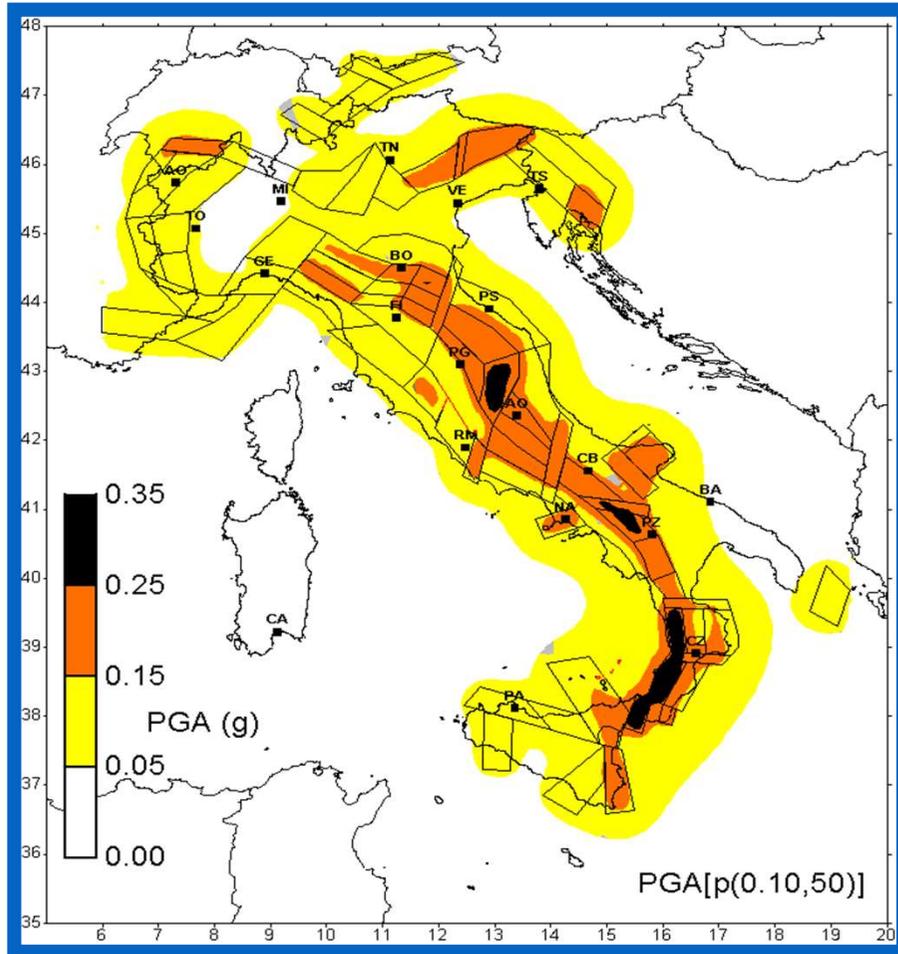
5%



2%

Manca la più importante ...

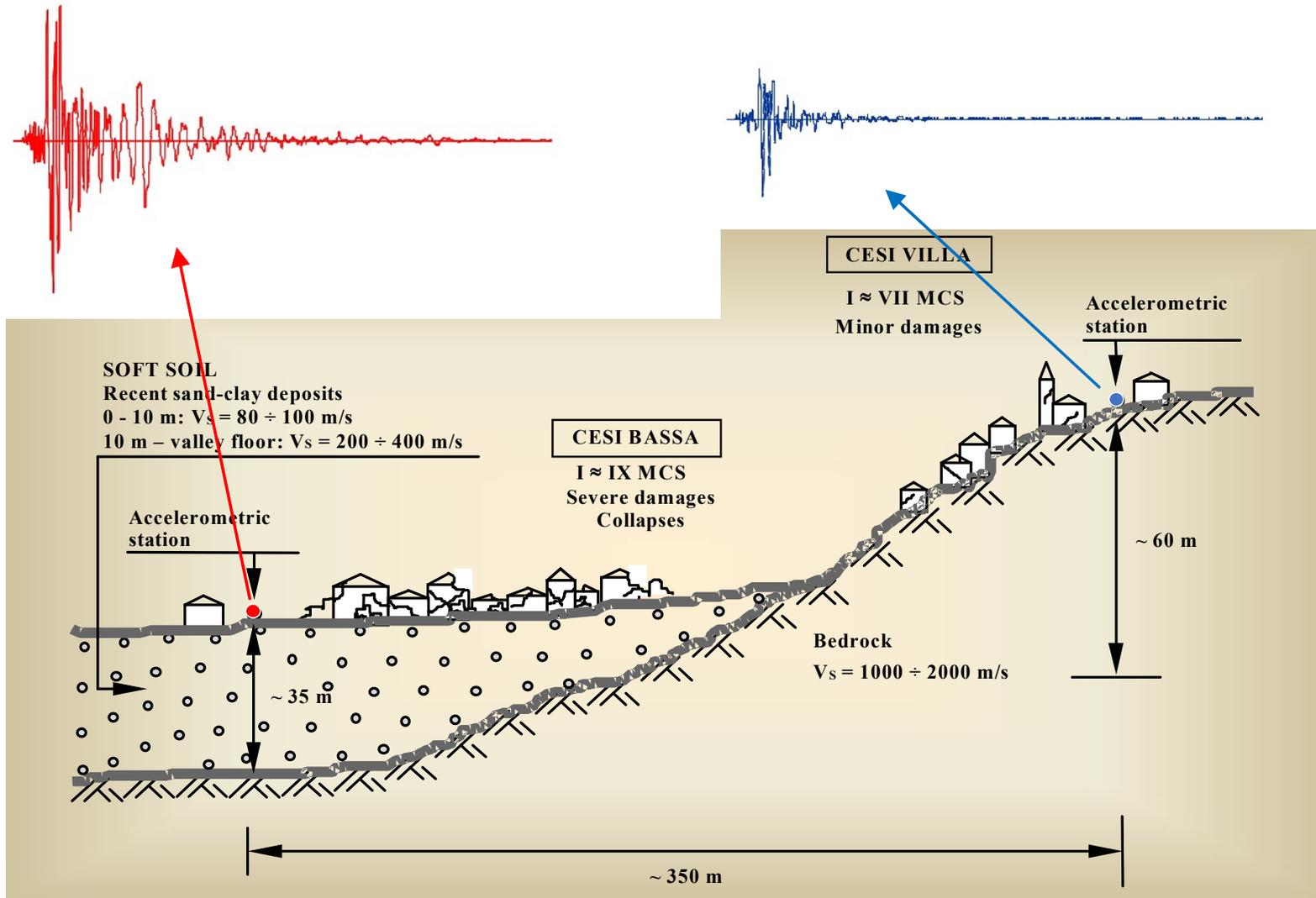
# Carte di pericolosità sismica per $P_{VR} = 10\%$ in 50 anni



Corrisponde ad un periodo di ritorno  $T_r$  di 475 anni

Questo è il livello di eccitazione sismica utilizzato come base per il progetto antisismico di molti edifici

# Influenza del terreno e microzonazione



Le PGA delle mappe sismiche vanno modificate in funzione delle caratteristiche del terreno

## Normativa: anni finali del '900

**D.M. 24 gennaio 1986**

Introduce un “coefficiente di importanza”

C2

Bisogna garantire maggior sicurezza a strutture “importanti” (per la protezione civile, ecc.)

**D.M. 16 gennaio 1996**

Consente la verifica col metodo degli stati limite

Introduce limiti agli spostamenti di interpiano

D

Per terremoti con basso periodo di ritorno:

poiché questi avvengono con frequenza, è importante evitare danni eccessivi ed interruzioni troppo lunghe dell'uso

# Classificazione sismica e normativa: 1997-2003

Terremoti: Umbro-Marchigiano 1997, zona etnea (Santa Venerina) 2001,  
Molise (San Giuliano di Puglia) 2002

Dal 2003 partono una serie di norme, che  
modificano radicalmente il panorama  
normativo

# Classificazione sismica e normativa: 1997-2003

Ordinanza 3274 del 20 marzo 2003

Ordinanza 3431 del 3 maggio 2005

Impone la verifica col metodo degli stati limite

Consente altre modalità di analisi (statica non lineare, dinamica non lineare)

Gerarchia delle resistenze

Chiarisce meglio tutte le problematiche di base (SLU-SLD, fattore di struttura, ecc.)

Introduce il concetto di “regolarità strutturale”

**D.M. 14 settembre 2005** (annullato dal D.M. 14/1/08)

Recepisce le Ordinanze

# Normativa sismica in Italia oggi

## **Eurocodice 8**

È la base da cui è stata tratta l'Ordinanza 3274-3431

Ad esso si allineano quasi perfettamente le NTC 08

## **D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni**

Sostanzialmente in linea con gli Eurocodici

Prime basi di “Performance based design”

## **D.M. 7 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni**

Piccoli aggiustamenti, senza variazioni rilevanti

Cambiano alcuni termini molto usati

# Evoluzione del concetto di protezione sismica

Prime normative:

Unico obiettivo

- Evitare perdite di vite umane

nel caso di terremoto  
con periodo di ritorno molto alto

# Evoluzione del concetto di protezione sismica

Normative attuali:

## Doppio livello di protezione

- Evitare perdite di vite umane nel caso di terremoto con periodo di ritorno molto alto
- Limitare i danni nel caso di terremoto con periodo di ritorno più basso

Normativa italiana, a partire dal 1996

Normativa europea (Eurocodice 8)

# Evoluzione del concetto di protezione sismica

Performance based design

Tendenza della normativa:

Più livelli di prestazione

- Evitare il crollo
- Evitare perdite di vite umane
- Consentire un rapido ripristino dell'operatività
- Mantenere l'operatività

associati a diversi livelli di intensità sismica

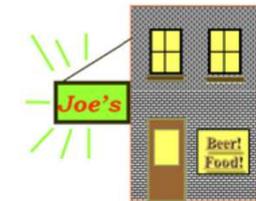
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, 2018

# Livelli di prestazione (stati limite)

## Stati Limite di Esercizio

### Stato Limite di Operatività – SLO

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti talmente modesti da non creare interruzioni d'uso significative



*Operational*

### Stato Limite di Danno – SLD

Danni ad elementi strutturali, non strutturali e impianti modesti, tali da non compromettere significativamente resistenza e rigidezza. L'opera dopo il sisma deve rimanere utilizzabile, pur se con limitazione d'uso di attrezzature



*Immediate  
Occupancy*

# Livelli di prestazione (stati limite)

## Stati Limite Ultimi

### Stato Limite di salvaguardia della Vita – SLV

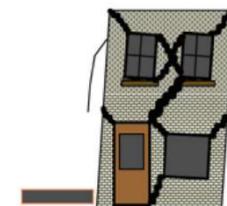
Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni significativi agli elementi strutturali con perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali. Esiste ancora un margine di sicurezza nei confronti del collasso.

### Stato Limite di prevenzione del Collasso – SLC

Rottura di elementi non strutturali e impianti, danni molto gravi agli elementi strutturali. Esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso.



*Life  
Safety*



*Collapse  
Prevention*

# Livelli di intensità sismica

Sono legati alla “vita di riferimento”  $V_R$  della struttura

Livello	Probabilità di superamento	Periodo di ritorno *
Frequente	81% in $V_R$ anni	30 anni
Occasionale	63% in $V_R$ anni	50 anni
Raro	10% in $V_R$ anni	475 anni
Estremamente raro	5% in $V_R$ anni	975 anni

\* Per  $V_R = 50$  anni

# Obiettivi prestazionali

Si ottengono associando un livello di prestazione ad ogni livello di intensità sismica

		Livelli di prestazione			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Livelli di intensità sismica	Frequente				
	Occasionale				
	Raro				
	Estremamente raro				

# Obiettivi prestazionali

Si ottengono associando un livello di prestazione ad ogni livello di intensità sismica

X → Obiettivi di base  
secondo le NTC18

		Livelli di prestazione			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Livelli di intensità sismica	Frequente				
	Occasionale		X		
	Raro			X	
	Estremamente raro				

# Obiettivi prestazionali

Si ottengono associando un livello di prestazione ad ogni livello di intensità sismica

È possibile definire anche  
obiettivi migliorati  
(strutture strategiche)

		Livelli di prestazione			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Livelli di intensità sismica	Frequente				
	Occasionale				
	Raro				
	Estremamente raro				

# Obiettivi prestazionali

Si ottengono associando un livello di prestazione ad ogni livello di intensità sismica

Alcune combinazioni sono  
invece inaccettabili

		Livelli di prestazione			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Livelli di intensità sismica	Frequente	Blue	Red	Red	Red
	Occasionale	Light Blue	Blue	Red	Red
	Raro	Light Green	Light Blue	Blue	Red
	Estremamente raro	Green	Light Green	Light Blue	Blue

# Intensità sismica

L'intensità sismica è espressa misurata dall'accelerazione di picco al suolo PGA (Peak Ground Acceleration) o  $a_g$

L'accelerazione di picco dipende da:

- Sito (collocazione geografica, tipo di terreno, ecc.)
- Periodo di ritorno  $T_r$  dell'evento che interessa

Il periodo di ritorno  $T_r$  del sisma, che è legato alla vita di riferimento  $V_R$ .

La vita di riferimento dipende da:

- Vita nominale  $V_N$
- Classe d'uso

# Vita nominale $V_N$

È il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

	TIPI DI COSTRUZIONE	Vita nominale $V_N$
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$ anni
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$ anni
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$ anni

# Classe d'uso

È legata alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche

TIPI DI COSTRUZIONE	Classe d'uso
Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli	I
Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali	II
Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi	III
Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità	IV

## Vita di riferimento $V_R$

Dipende da:

- Vita nominale  $V_N$
- Classe d'uso

$$V_R = V_N \times C_U \geq 35 \text{ anni}$$

Il coefficiente d'uso  $C_U$  dipende dalla classe d'uso

Classe d'uso	I	II	III	IV
$C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

# Vita di riferimento $V_R$

$$V_R = V_N \times C_U \geq 35 \text{ anni}$$

Vita nominale \ Classe d'uso	I	II	III	IV
10				
50		50		
100				

Esempio: edificio per abitazione di nuova realizzazione

Opera ordinaria,  $V_N = 50$  anni

Normale affollamento,  $C_U = 1.0$

# Vita di riferimento $V_R$

$$V_R = V_N \times C_U \geq 35 \text{ anni}$$

Vita nominale \ Classe d'uso	I	II	III	IV
10	35	35	35	35
50	35	50	75	100
100	70	100	150	200

Classe d'uso	I	II	III	IV
$C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

## Periodo di ritorno $T_r$

Possiamo calcolarlo in funzione di  $V_R$  e  $P_{VR}$

$$T_r = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \cong \frac{V_R}{P_{VR}}$$

Periodo di ritorno  $T_r$  (in anni)

Stato limite	$P_{VR}$	$V_R=35$ anni	$V_R=50$ anni	$V_R=75$ anni	$V_R=100$ anni
SLO	81%	21	30	45	60
SLD	63%	35	50	75	100
SLV	10%	332	475	712	950
SLC	5%	682	975	1462	1950

# Relazione tra accelerazione di picco e periodo di ritorno

- Non esiste una relazione rigorosa
- Approssimativamente si può ritenere che l'accelerazione di picco vari con la radice quadrata del periodo di ritorno

Esempio:

per un periodo di ritorno  $T_r=475$  anni si ha  $a_g=0.25$  g

per un periodo di ritorno  $T_r=950$  anni si ha

$$a_g \cong 0.25 \times \sqrt{\frac{950}{475}} = 1.41 \times 0.25 = 0.35 \text{ g}$$

## Classe d'uso e intensità sismica

Le norme forniscono il coefficiente d'uso  $C_U$  che, moltiplicato per la vita nominale  $V_N$ , dà la vita di riferimento  $V_R$

– Per classe d'uso II si ha  $C_U = 1$

quindi per verifica di resistenza di costruzioni usuali

$V_R = 50$  anni, periodo di ritorno  $T_r = 475$  anni

si ha, ad esempio,  $a_g = 0.25 g$

– Per classe d'uso III (edifici con affollamento)  $C_U = 1.5$

quindi per verifica di resistenza di costruzioni usuali

$V_R = 50 \times 1.5$  anni, periodo di ritorno  $T_r = 475 \times 1.5$  anni

si ha  $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{1.5} = 1.22 \times 0.25 g$

– Per classe d'uso IV (edifici strategici)  $C_U = 2$

si ha  $a_g \cong 0.25 \times \sqrt{2} = 1.41 \times 0.25 g$

# Normativa europea

L'Eurocodice 8 prevede solo due obiettivi prestazionali:

- Requisito di non-collasso
  - Equivale a SLV
  - È riferito ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ovvero a un periodo di ritorno di 475 anni
- Requisito di limitazione del danno
  - Equivale a SLD
  - È riferito ad una probabilità di superamento del 10% in 10 anni, ovvero a un periodo di ritorno di 95 anni

Per edifici ordinari

Per classi d'uso diverse si utilizza il coefficiente di importanza  $\gamma_1$

# Coefficiente d'importanza

- L'accelerazione di picco valutata per edifici ordinari va moltiplicata per il coefficiente d'importanza  $\gamma_I$
- Il coefficiente d'importanza  $\gamma_I$  dipende dalla classe d'importanza (è l'equivalente della classe d'uso):
  - Per costruzioni minori (classe I),  $\gamma_I = 0.8$
  - Per costruzioni ordinarie (classe II),  $\gamma_I = 1.0$
  - Per edifici con affollamento (classe III),  $\gamma_I = 1.2$  ... era 1.22 per NTC18
  - Per edifici strategici (classe IV),  $\gamma_I = 1.4$  ... era 1.41 per NTC18

Non cambia molto rispetto alle NTC